Aus dem Institut für gerichtliche Medizin
der Universität Heidelberg
Vorstand Prof. Dr. Schwarzacher

STANFORD UNIV
15
MAR
1939
LIBRARY

Bremsweg und Reaktionszeit

Lane Medical Library

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer hohen medizinischen Fakultät
der Bad. Ruprecht-Karls-Universität
zu Heidelberg

vorgelegt von

Karlheinz Kumpf

Schwetzingen

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät

der Universität Heidelberg

Dekan:		Referent:
Prof. Dr. Runge	1937	Dr. Jungmichel

Bremsweg und Reaktionszeit

Schon die Ueberschrift teilt den zu bearbeitenden Stoff in zwei Teile: Technik und psychologische Physiologie. In dieser Reihenfolge sollen auch die Beziehungen dieser bei Verkehrsunfällen oft so wichtigen Punkte abgehandelt werden. Die Messung des Bremsweges, der Bremskraft und der mechanischen Einflüsse wird das Gericht immer dem technischen Sachverständigen überlassen. Der Psychologe aber wird auf die psychologischen Schwierigkeiten hinweisen müssen, die in der betreffenden Lebenslage das Handeln des Menschen beeinflußt haben. Die technischen Fragen, die dem Begriff des Bremsweges zu Grunde liegen, sollen nun näher ausgeführt werden.

Zum Zwecke der Verzögerung der Geschwindigkeit bzw. zur Verzögerung der Geschwindigkeit bis zum Stillstand hat man an Kraftfahrzeugen Bremsen angebracht. Diese haben die Aufgabe, die kinetische Energie des Fahrzeugs teilweise bzw. ganz zu vernichten. Die Größe des Arbeitsvermögens eines in Bewegung befindlichen Fahrzeugs beträgt:

$$A = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot 2}$$

wobei A = Arbeitsvermögen, G = Gewicht des Fahrzeugs in kg, g = 9,81 und v = Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde ist. Da nun $\frac{G}{g} = m$, Masse des Fahrzeugs, so sind

$$A = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

mkg abzubremsen. Aus dieser Formel kann man ersehen, daß durch den im Quadrat auftretenden Einfluß der Geschwindigkeit bei gleichem Gewicht der Fahrzeuge die Bremswirkung eine andere sein muß, wenn zwei Fahrzeuge mit verschiedener Geschwindigkeit denselben Bremsweg haben sollen. Beim Bremsen achtet man nun darauf, eine möglichst große Verzögerung zu erreichen. Die Formel derselben ist

$$p = 9{,}81 \cdot \frac{P}{G}$$

wobei p die Verzögerung in m/sek^2, P die Verzögerungskraft in kg und G das Gewicht des Fahrzeugs in kg bedeutet. Da nun die Verzögerungskraft von der Haftung der Räder am Boden abhängig ist, kann das Fahrzeug nur bis zu einem gewissen Grad verzögert werden, ohne daß die gebremsten Räder

schleifen. Setzt man für die Haftung der Räder am Boden den von der Beschaffenheit der Radlauffläche und Bodenoberfläche abhängigen Wert r (Reibungswert), so ist

$$P_{max} = r \cdot G$$

$$\text{also} \quad p_{max} = 9{,}81 \frac{r \cdot G}{G}$$

$$p_{max} = 9{,}81 \cdot r.$$

Hieraus folgt, daß die größtmögliche Verzögerung, die durch Bremskraft erreicht werden kann, nur durch die Reibungszahl r bedingt ist. Voraussetzung ist natürlich, daß die Bremskraft ausreichend ist, um die Räder gerade noch zu blockieren. Zuerst soll angenommen werden, daß das ganze Gewicht des Fahrzeugs für die Bodenhaftung in Frage kommt, was bei allen neueren Modellen der Kraftfahrzeuge der Fall ist; ebenso daß alle Bremsen gleich stark wirken. Bei älteren Fahrzeugen werden nur die Hinterräder abgebremst; das bedeutet einen Verlust an Bodenhaftung, der bedingt ist durch den Gewichtsausfall, welcher auf den Vorderrädern ruht. Dasselbe gilt auch für Motorräder mit Hinterradbremsung. Dieser Verlust wird noch gesteigert dadurch, daß beim Bremsen eine Gewichtsverlagerung nach vorn eintritt, also die Hinterräder noch weiter entlastet werden. Die Verlagerung beträgt ungefähr

$$G_v = 0{,}22 \frac{G}{9.81} p$$

bei scharfem Bremsen. Aehnliche Verhältnisse treten auch auf schiefer Ebene auf. Bei Fahrzeugen, die an jedem Rad eine Bremse besitzen, kann dies durch zweckmäßige Uebersetzung des Gestänges etc ausgeglichen werden, während bei Hinterradbremsung ein Verlust von ungefähr 10% Höchstverzögerung eintritt. Unberücksichtigt bleibt die Wirkung der „umlaufenden Massen". Man kann 6—8% zum Fahrzeuggewicht dafür hinzurechnen. Da kleine schnelle Wagen (Motorräder) meist leichte umlaufende Massen haben, und große mit solchen schweren langsamer fahren, ist der Einfluß meist nicht sehr groß.

Weil nun das Optimum der Bremswirkung von der Bodenhaftung abhängt, ist die erreichbare Höchstverzögerung sehr unsicher. Der Wert r der Bodenhaftung erfährt durch Straßenoberfläche (Bedeckung), Witterungseinflüsse (Regen, Schnee, Eis) und durch die Beschaffenheit der Radlauffläche (Reifenprofil) eine Beeinflussung. Glatte Reifen haften auf ungerauhtem Asphalt bei Regen mit ungefähr 0,1—0,2. Da man sich bemüht hat, möglichst große Reibungswerte zu schaffen, so hat man durch entsprechendes Gleitschutzprofil und rauhe, griffige Straßen bei Regen Werte bis zu 0,5 und bei Trockenheit bis zu 1,2 ermöglicht. Nach der Formel $p = 9{,}81 \cdot r$ erreicht man also Höchstverzögerungen zwischen 5 und 12 m/sek².

Die Bremswirkung wird nun noch unterstützt durch die äußeren und inneren Widerstände. Die äußeren setzen sich zusammen aus Roll-, Luft- und Steigungswiderständen. Die inneren werden hauptsächlich erzeugt durch die Kompressionsarbeit des gedrosselten Motors und durch die Reibung der bewegten Teile. Diese inneren Widerstände wirken nun bei hoher Geschwindigkeit stark verzögernd. Man kann diese Wirkung noch verstärken, indem man einen kleineren Getriebegang einschaltet. Dadurch muß der Motor, dem Uebersetzungsverhältnis gemäß schneller laufen und bremst so viel stärker. Bei Fahrzeugen, die nicht durch Explosionsmotor angetrieben werden, fällt natür-

lich die bremsende Kraft der Kompressionsarbeit fort. Da die Verkehrssicherheit von dem kürzesten Bremsweg abhängt, so spielt dieser in der Fahrpraxis oft eine große Rolle. Der wirklich mögliche kürzeste Bremsweg setzt natürlich eine solche Bremskraft voraus, die die Räder bei guter Bodenhaftung und vollem Gewicht eben noch blockieren kann. Es ist dies bei neuen Wagen immer gerade möglich. Zeigt sich später, daß diese Bremskraft nicht mehr vorhanden ist, so ist der Grund in Unterhaltungsfehler zu suchen. Ist also die Bremskraft ausreichend, so werden die inneren Widerstände für den Bremsweg wertlos, da sie ja das Fahrzeug auch nicht weiter verzögern können. Nur wenn, wie vorhin erwähnt, durch Unterhaltungsfehler die Bremskraft nicht mehr ausreicht, können sie, genügende Fahrtechnik vorausgesetzt, für den kürzesten Bremsweg sehr wertvoll sein. In der Bremsformel $p = 9{,}81 \frac{P}{G}$ ist dann P die Gesamtheit aller am Rad verzögernd wirkenden Kräfte. Berücksichtigt man Steigung, Gefälle, innere und äußere Widerstände, so bekommt man die Formel

$$p = 9{,}81 \frac{P_i + P_b \pm \frac{h}{100} G}{G}$$

Wie schon oben erwähnt, fallen auch hier die inneren Widerstände weg, wenn die Bremskraft ausreichend ist, um die Räder noch zu blockieren. Aus der Formel ist aber auch ersichtlich, daß bei einer Bodenhaftung von 0,1 (Schnee, Glatteis) ein Bremsen bzw. Anfahren auf einer Steigung von 10% unmöglich wird.

Die Bremsprüfungen werden nach § 19 AA Abs. I der R.St.O. ausgeführt:

„Bei Bremsprüfungen eines Kraftfahrzeuges ist auf ebener trockener Straße die mittlere Verzögerung festzustellen, die mit jeder vorhandenen Reibungsbremse bei gewöhnlichem Kraftaufwand und erwärmten Bremstrommeln erreichbar ist, ohne daß das Kraftfahrzeug seine Spur verläßt. Die Prüfungen sind mit voll belastetem Kraftfahrzeug bei Höchstgeschwindigkeit durchzuführen. (Die Reibungsziffer der Bremsen fällt mit zunehmender Geschwindigkeit, bedingt durch den sog. „Schlupf" des Bremsbelages bei Erwärmung). Ausreichende Bremsung liegt vor, wenn mit der einen Bremsvorrichtung eine mittlere Verzögerung von mindestens 2,5 m/sek², mit der anderen eine von mindestens 1,5 m/sek² erreicht wird; bei Kraftfahrzeugen, die nicht schneller als 20 km je Stunde fahren können, müssen die mittleren Verzögerungen mindestens 1,5 m/sek² und 1 m/sek² betragen."

Hierzu wäre zu bemerken, daß wohl kaum ein Besitzer eines schnellen Kraftwagens oder Motorrades sich dazu bereit erklären würde, der Bedingung der Höchstgeschwindigkeit und scharfen Abbremsung zu entsprechen, um evtl. dadurch sein Leben auf das Spiel zu setzen.

Die R.St.O. schreibt also nicht die Höchstverzögerung, sondern die mittlere Verzögerung vor, die auf einer ebenen, trockenen Straße bei vollem Gewicht und voller Geschwindigkeit und gewöhnlichem Kraftaufwand erreicht werden muß, ohne daß das Fahrzeug schleudert. Die Höchstverzögerung setzt sich zusammen aus dem Maximum aller schon erwähnten Kräfte, die geeignet sind, die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zu hemmen (wobei auch die erwähnten äußeren Widerstände zu berücksichtigen sind), während die mittlere

Verzögerung an die Vorschriften der R.St.O. gebunden ist und von einer normal betätigten Bremse auf dem gesamten Bremsweg verlangt wird; die Höchstverzögerung kann also darüber oder darunter liegen. Wie sich nun die Beziehungen zwischen Bremsweg, mittlerer Verzögerung, Höchtsverzögerung und Bremszeit verhalten, soll in den folgenden rechnerischen Darlegungen und praktischen Beispielen gezeigt werden.

Die Energie des sich in Bewegung befindenden Fahrzeugs ist $\frac{G \cdot v^2}{g \cdot 2}$; die Bremsarbeit : P · s; die Beziehung zwischen Bremsweg und Geschwindigkeit: $p = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot s}$ oder $s = \frac{v^2}{2 \cdot p}$ (v_1 bei Stillstand des Fahrzeugs gleich null). Hierin ist G = Gesamtgewicht des Wagens in kg, v = Geschwindigkeit in m/sek, g = 9,81, P = Summe aller Bremskräfte am Radumfang in kg, s = Bremsweg in m und p = mittlere Verzögerung in m/sek². Da nun, um ein Sperren der Räder zu vermeiden, P kleiner oder gleich G · r sein muß, so ist G · r an Stelle von P gesetzt:

$$G \cdot r \cdot s = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot 2} \text{ oder } s = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot 2 \cdot G \cdot r} = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot r}$$

Das gilt jedoch nur für die Vierradbremse, weil hier das Wagengewicht gleich dem bei der Bremsung wirksamen Adhäsionsgewicht zu setzen ist. Nimmt man z. B. eine Reibungszahl von r = 0,7 für trockene Schotterstraße an, so ergibt sich bei einer Fahrgeschwindigkeit von 45 km/std (12,5 m/sek) ein kürzest möglicher Bremsweg von:

$$s = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot r} = \frac{12{,}5^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}7} = 11{,}35 \text{ m}$$

Bei einer Reibungszahl von r = 0,25 auf nasser Asphaltstraße würde s aber schon $\frac{12{,}5^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0.25} = 32$ m betragen. Eine schärfere Bremsung auf nassem Asphalt würde also den Wagen ins Schleudern bringen. Wenn man die für die verschiedenen Reibungszahlen errechneten Bremswege mit den Bremswegen und den dazugehörigen Verzögerungswerten der Tafel vergleicht, so sieht man, daß z. B. der Reibungszahl von 0,25 etwa eine mittlere Verzögerung von 2,5 m/sek² entspricht, p ist also etwa = 10 r. Das heißt aber: die in der R.St.O. vorgeschriebene mittlere Verzögerung von etwa 2,5 m/sek² ist nur auf einer Fahrbahn mit einer Reibungszahl von r = 0,25 und mehr möglich. Ist die Reibungszahl kleiner, wie z. B. auf schlüpfriger oder vereister Straße, dann würden bei einer mittleren Bremsverzögerung von 2,5 m/sek² die Räder gesperrt und der Wagen käme ins Schleudern.

Wichtiger aber als die möglichen Bremswege bzw. Verzögerungswerte sind im praktischen Fahrbetrieb die tatsächlichen, mit den vorhandenen Bremsen erreichbaren Werte. Sie lassen sich rechnerisch und durch praktische Bremsversuche ermitteln.

Die größten Bremswege in m dürfen betragen bei:

		mittlere Verzögerung in m / sek ^{2}					
km/std	m/sek	1,0	1.5	2,5	3,5	5,0	6,5
20	5,6	15,40	10,27	6,16	4,5	3,1	2,4
30	8,3	34,69	23,13	13,88	10,0	7,0	5.4
40	11,1	61,60	41,07	24,64	17,9	12,5	9,6
50	13,9	96,60	64,40	38,64	27,9	19,5	15,0
60	16,7	139,44	92,96	55.78	40,0	28,1	21,6
70	19,4	188,18	125,45	75,27	50,7	38,3	29,5
80	22,2	246,42	164,28	98,55	71,2	50,0	38,4
90	25,0	312,50	208,33	123,00	90,4	63,2	48,6
100	27,8	386,42	257,61	154,57	111,5	78,0	60,0

1. Die rechnerische Bestimmung

Bei der mechanischen Hebelbremse (ohne Servo-Wirkung) ist der tatsächliche Bremsweg durch das Uebersetzungsverhältnis im Bremsgestänge, durch den von dem Führer auf dem Bremshebel ausgeübten Druck und durch die Reibungszahl zwischen den Bremstrommeln und dem Bremsbelag bestimmt. Weiter ist die Kenntnis des gesamten Wagengewichtes und des Bremstrommel- und Reifendurchmessers der gebremsten Räder erforderlich. Die Breite des Bremsbelages ist für die spezifische Beanspruchung (nicht über 2 kg/cm^2 Druck, weil sonst zu starke Erhitzung und Abnützung) des Belages wichtig, spielt jedoch, entgegen der Annahme vieler Fahrer, bei der Berechnung der Bremswege keine unmittelbare Rolle.

Als Beispiel soll in folgendem der durch die mechanischen Vierradbremse auf ebener und trockener Fahrbahn erreichbare Bremsweg eines älteren Lastkraftwagens bestimmt werden. Nimmt man den Druck des Fahrers auf den Bremshebel mit P' = 60 kg und die Reibungszahl zwischen Bremsbelag (Kupfer—Asbestbelag) und Bremstrommel mit r = 0,5 an, so ergibt sich bei einem Gesamtübersetzungsverhältnis des Bremsgestänges (bei Oeldruckbremsen vgl. Gesetz der hydraulischen Presse, bei Luftdruckbremsen vgl. Hinnenthal II.) von i = 106 eine Bremskraft P am Umfange der Bremstrommeln von:

$$P = P \cdot i \cdot r = 60 \cdot 106 \cdot 0.5 = 3180 \text{ kg}.$$

Bei einem Bremstrommeldurchmesser von 500 mm, einem Reifendurchmesser von 1025 mm (Reifengröße 38 × 7) und einer Fahrgeschwindigkeit von 45 km/std (12,5 m/sek) beträgt dann der Bremsweg:

$$s = \frac{G \cdot v^2 \cdot D}{g \cdot 2 \cdot P \cdot d} = \frac{7600 \cdot 12{,}5^2 \cdot 1{,}025}{9{,}81 \cdot 2 \cdot 3180 \cdot 0{,}5} = 39 \text{ m}$$

Hierin ist G das Gesamtgewicht des vollbelasteten Wagens in kg, v = Fahrgeschwindigkeit in m/sek, D = Reifendurchmesser in m, g = 9,81, P Bremskraft am Umfang der Bremstrommel in kg und d = Bremstrommeldurchmesser in m. Dieser errechnete Bremsweg entspricht einer mittleren Verzögerung von

$$p = \frac{v^2}{2 \cdot s} = \frac{12{,}5^2}{2 \cdot 39} = \text{etwa } 2 \text{ m/sek}^2.$$

Bei dieser Berechnung ist vorausgesetzt, daß alle Teile der Bremse fehlerfrei arbeiten, und die Räder auf der ebenen Fahrbahn nicht gesperrt werden. Unberücksichtigt ist der Einfluß des Schlupfes (Erhitzung usw.) auf die Reibungszahl zwischen Bremsbelag und Bremstrommel bei den verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten sowie der Wind- und Rollwiderstand des Wagens. Letzterer ist, wenn bei der Bremsung nicht ausgekuppelt wurde, also neben dem Triebwerk auch der Motor als Bremse wirkte, sehr bedeutend. Praktische Versuche haben ergeben, daß er die mittlere Verzögerung je nach der Beschaffenheit des Triebwerks um 0,5 bis 1 m/sek² erhöht, den Bremsweg also wesentlich verkürzt. Der oben errechnete mittlere Verzögerungswert von 2 m/sek² würde sich somit um 0,5 bis 1 m/sek², also auf 2,5 bis 3 m/sek², erhöhen.

2. Der praktische Bremsversuch

Bei den praktischen Versuchen ist der größte Wert auf genaue Ermittelung von Fahrgeschwindigkeit und Bremsweg des vollbelasteten Wagens zu legen. Aus diesen beiden Werten läßt sich die mittlere Verzögerung $p = \frac{v^2}{2s}$ leicht bestimmen. Noch einfacher können im praktischen Werkstatt- und Fahrbetrieb die Verzögerungswerte einer Bremse bestimmt werden durch Verzögerungsmesser, die vor einiger Zeit auf den Markt gebracht worden sind. Die augenblicklichen Höchstverzögerungswerte werden hier während der Bremsung unmittelbar von der Skala des Geräts abgelesen. Die erwähnte Ausführungsanweisung zur R.St.O. spricht aber nicht, wie schon erwähnt, von einem Spitzenwert der Verzögerung (Höchstverzögerung), sondern von der erreichten mittleren Verzögerung. Versuche haben ergeben, daß bei einer Fahrgeschwindigkeit von 45 km/std die mittlere Verzögerung um etwa 1 m/sek² niedriger ist als die von dem Verzögerungsmesser angezeigte Höchstverzögerung. Wenn also eine mittlere Verzögerung von 2,5 m/sek² erreicht werden soll, dann muß der Bremsmesser eine Höchstverzögerung von etwa 3,5 m/sek² anzeigen. Die von der R.St.O. vorgeschriebenen mittleren Werte sind, wie Versuche gezeigt haben, für ältere Fahrzeuge mit Bremsen ohne Servo-Wirkung ziemlich hoch und können fast ausnahmslos nur erreicht werden, wenn alle Teile der Bremse in technisch einwandfreiem Zustand sind.

Wird nun z. B. ein Fahrzeug mit einer Fahrgeschwindigkeit von 40 km/std (11,1 m/sek) um 4 m/sek² verzögert, so fällt die Geschwindigkeit in der ersten Sekunde um 4 m/sek, d. h. am Ende der ersten Sekunde der Bremszeit beträgt die Geschwindigkeit noch 7,1 m/sek (= 25,5 km/std). Bei weiterem Bremsen und gleichbleibender Verzögerung würde die Geschwindigkeit am Ende der zweiten Sekunde wieder um 4 m/sek, d. h. auf 3,1 m/sek (= 10,8 km/std) zurückgegangen sein und das Fahrzeug kurz vor Ablauf der dritten Sekunde zum Stehen kommen. Die Beziehungen der Bremszeit lassen sich durch die Formel: $t = \frac{7{,}07 \cdot s}{v}$ (t in Sek.; s = Bremsweg in m; v = Ausgangsgeschwindigkeit in km) ausdrücken. Setzt man die für den erwähnten Fall in Frage kommenden Werte in die in der Praxis verwendete Formel, so ergibt sich:

$$s = \frac{v^2}{2\,p} = \frac{11{,}1^2}{2 \cdot 4} = 15{,}4 \text{ m}$$

$$\text{also: } t = 7{,}07 \cdot \frac{s}{v} = 7{,}07 \cdot \frac{15{,}4}{40} = 2{,}68 \text{ Sek.}$$

Man sieht also, daß nahezu 2¾ Sek. erforderlich sind, um das Fahrzeug zum Stillstand zu bringen.

Bei Gutachten, die den Bremsweg betreffen, muß die sog. Reaktionszeit berücksichtigt werden; das ist die Zeit, die verstreicht vom Erkennen des Hindernisses bis zur willkürlichen Ausführung einer bestimmten Bewegung, hier also der Bremsbetätigung. Diese Zeit wird nun durch allerlei Einflüsse von 0,2—1,0 Sek. um 1 Sek. und mehr verlängert. Da unberechtigter Weise für die Zeit der Lähmung durch Schreck meist eine Sekunde angenommen wird, bezeichnet man diese Verlängerung der Reaktionszeit auch als „Schrecksekunde". Der in der Reaktionszeit und Schrecksekunde durchlaufene Weg ist aber für den nach der Lage des Falles evtl. nötigen Bremsweg verloren. Die Größe dieses Weges in 1 Sek. läßt sich aus der Tafel ersehen.

*

Die Beobachtungen, die für die sog. „Schreckstunde" zu Grunde liegen, sollen nun etwas näher erörtert werden.

Versuche über Reaktionszeiten ergaben folgendes:

1. Stellt man einer Versuchsperson die Aufgabe, einen bei konzentrierter Aufmerksamkeit erwarteten Schalleindruck, durch eine einfache Hand- oder Fingerbewegung zu registrieren, so erhält man für diese Aufgabe durchschnittlich Werte von 0,125 Sek.
2. Macht man denselben Versuch mit einem Lichtreiz, so bewegt sich der Durchschnittswert um ungefähr 0,175 Sek.

Bei diesen beiden sog. muskulären Reaktionen wird der Versuchsperson der kurz darauf erfolgende Reiz angekündigt. Es muß dabei nur auf das Auftreten des betreffenden Reizes geachtet werden. Eine andere Art der Reaktion ist die sensorielle Reaktion. Bei dieser handelt es sich darum, daß der angekündigte gegebene Reiz erst erfaßt werden muß. Es ist daraus schon anzunehmen, daß die sensorielle Reaktion mehr Zeit beansprucht, als die muskuläre. Sie beträgt für die oben angegebenen Versuche für Schalleindrücke 0,225 im Durchschnitt und für Lichtreize ungefähr 0,29 Sek.

Außer den bisher erwähnten einfachen Reaktionen sind auch etwas kompliziertere Aufgaben gestellt und untersucht worden. Wie z. B. folgende:

I. Der Versuchsperson wird ein Reiz a und ein Reiz b angeboten, und zwar wird dasselbe Sinnesorgan gereizt. Die Ankündigung unterbleibt in diesem Versuch. Ebenso ist unbekannt, welcher Reiz zuerst erscheint. Die beiden Reize müssen also unterschieden werden. Die Versuchsperson hat nun auf einen der beiden Reize zu reagieren.

Diese Art der Reaktion hat man Unterscheidungsreaktion bezeichnet. Sie ist natürlich wieder etwas länger, als die vorhin erwähnten einfachen sensoriellen Reaktionen.

II. Der Versuchsperson wird wieder, wie oben, ein Reiz a und b angeboten. Die Aufgabe wird aber dadurch erschwert, daß jeder der beiden Reize mit einer besonderen Bewegung A oder B beantwortet werden muß. Die Reihenfolge ist ebenfalls unbekannt. Es liegt also eine Wahlreaktion vor.

Die gefundenen Werte für die akustische Unterscheidungsreaktion und für die akustische Wahlreaktion sind nur wenig voneinander verschieden. Sie liegen ungefähr zwischen 0,3 bis 0,36 Sek. bei nur zwei Reizen in Versuch I und nur zwei Bewegungen in Versuch II. Für Lichteindrücke liegen die Ergebnisse ganz entsprechend höher und zwar zwischen 0,365 und 0,425 Sek.

Die in den vorangegangenen Versuchen verwendeten einfachen Reize können nun noch durch Buchstaben und einfache bekannte kurze Worte ersetzt werden. Da die optischen Reaktionszeiten für die erwähnten Reize kaum voneinander abweichen, und beide ungefähr um 0,02 Sek. höher liegen, ergeben sich für die optischen Unterscheidungs- und Wahlreaktionen für Worte und Buchstaben die mittleren Werte von 0,385—0,445 Sekunden.

Die Zeit, die nun nötig ist, um einen Reiz zu erfassen, beträgt 0,03 Sek. für eine Farbe und 0,05 für Worte oder Buchstaben.

Wenn nicht, wie bei der Unterscheidungs- und Wahlreaktion, nur zwei Reize und eine bzw. zwei Bewegungen gegeben sind, sondern zehn Reize, die je mit einer verschiedenen Bewegung beantwortet werden sollen, z. B. der erste mit dem Daumen, der zweite mit dem Zeigefinger usw., erhält man Werte, die im Durchschnitt um 0,65 Sek. liegen.

Da die gefundenen Durchschnittswerte für jede Person kleine Abweichungen zeigen, denen der sog. persönliche Wert zu Grunde liegt, so haben sie auch für die Beurteilung der Leistungen eines Kraftfahrers schon einige Bedeutung. Man wird aber die in den Versuchsräumen unter optimalen Bedingungen (Aufmerksamkeit, Ruhe, keine Ermüdung, vorherige Kenntnis der Reizart und Schallrichtung) gefundenen Werte nicht so ohne weiteres auf die praktischen Verhältnisse übertragen können. Deshalb sind, da jede Beeinflussung irgendeines Sinnesorgans eine Ablenkung oder Hemmung darstellt, die genannten Versuchsergebnisse in der Praxis in jeder Beziehung zu klein. Läßt man bei den Versuchen die vorbereitende Ankündigung weg, so wird dadurch schon die Reaktionszeit verlängert. Durch diese Ankündigung kann sich die Versuchsperson auf den zu erwartenden Reiz einstellen. Unterläßt man sie nun, und die Versuchsperson ist etwas schlecht eingestellt, so kann sich unter Umständen sogar die einfache sensorielle Reaktion schon bis zu einer Sekunde verlängern. Wollte nun ein Kraftwagenführer seine Aufmerksamkeit so konzentrieren, daß er immer schnellstens reagieren könnte, so würde er nach wenigen Kilometern so in Aufregung geraten und ermüdet

sein, daß seine Aufmerksamkeit, die ja schon ohnedies Schwankungen unterliegt, unmöglich der für den Verkehr nötigen Vorsicht entspräche; dabei ist noch nicht berücksichtigt, daß die Vielgestaltigkeit der im Verkehr auftretenden gleichzeitigen Reize eine solche Konzentration gar nicht erlaubt. Da diese schnellste Reaktion also in der Praxis nicht dauernd möglich ist, so muß der Fahrer sich in dieser Beziehung auf die entsprechenden Situationen beschränken. Aus den früher angeführten Versuchen konnte man ersehen, daß sich für verschiedene Reizobjekte auch verschiedene Reaktionszeiten ergaben. Dasselbe trifft nun auch für den Verkehr zu. Es sind ja nicht immer die gleichen Verkehrsbilder, die eine kürzeste Reaktion erfordern. Bei älteren erfahrenen Führern kann hier allerdings durch oftmaliges Auftreten derselben oder doch ähnlicher Situationen die Reaktionszeit verkürzt werden. Wenn der Fahrer eine gefährliche Situation erkannt hat, so kann die Urteilsbildung, ob er sich nun zum Gasgeben oder Bremsen (seitliche Gefahr an Kreuzungen) entschließen soll, die Reaktionszeit auch beträchtlich verlängern. Da nun die erforderliche Einstellung des Fahrers auf den betreffenden Reiz von Situation zu Situation eine andere ist, so ist er genötigt, sich dauernd auf diese umzustellen. Es wird hierfür immer eine gewisse Zeit (Umstellungszeit) nötig sein, die ebenfalls wieder individuell schwankt und auch unter den jeweiligen Umständen eine verschiedene ist. So wird z. B. der Kraftwagenführer, der damit rechnet, daß aus der ihm für „Vorfahrtsrecht frei" bekannten Seitenstraße ein Fahrzeug herausfährt, besser eingestellt sein, als der, der sich plötzlich einem solchen gegenüber sieht, das aus einer ihm für „Vorfahrtsrecht gesperrt" bekannten Straße entgegen des Verbotsschildes herausfährt. Die gerade erwähnte Umstellungszeit wird um so größer sein, je mehr der Fahrer von der neuen Situation überrascht wird. Ebenso kann die Umstellungs- bzw. Ueberraschungszeit durch eine übermäßig starke Ueberraschung geradezu zur Schreckzeit werden. Diese Schreckzeit wird meistens in der Rechtsprechung mit einer Sekunde angenommen und stammt aus einem Gutachten von Prof. Marbe bei einem Eisenbahnunglück. Der Fall lag wie folgt:

„Es wurde Prof. Marbe vom Staatsanwalt die Frage vorgelegt, ob der Zugführer (der damals in Baden auch die Aufgabe hatte, die Signale zu beachten) in 22 Sekunden Zeit hatte, zu erkennen, daß der Lokomotivführer säumig ist, d. h. nicht bremst, sich klar zu machen, daß Gefahr für den Zug besteht, seiner Pflicht zum Eingreifen zu gedenken, sich zum Notbremsen zu entschließen und diesen Entschluß auszuführen. Der Lokomotivführer war mit über 100 km Geschwindigkeit über eine Gefahrenstelle hinweggefahren, die er laut schriftlichen Befehl und Warnzeichen nur mit 20 km hätte passieren dürfen. Er stand unter Alkoholwirkung und war auf der Lokomotive fest eingeschlafen. In dem Gutachten sind folgende experimentelle Untersuchungsergebnisse zu finden:

1. Ueberraschungszeit 1 Sek., da der Zugführer auf das Verhalten des Lokomotivführers nicht eingestellt war und schon einfache Versuche über sensorielle Reaktionen, die nicht erwartet werden, wie schon erwähnt, eine Reaktionszeit bis zu einer Sekunde ergeben.
2. Reaktionszeit von durchschnittlich 1,5 Sek., wobei die Bedingungen, unter denen reagiert werden mußte, möglichst genau nachgeahmt waren.

3. 1 Sek. für die Zeit, sich umzudrehen und den Bremshebel zu ergreifen.
4. 0,5 Sek. als Sicherheitsgröße.

Es wären also zu dem Vorgang 4 Sek. nötig gewesen. Versuche im Packwagen aber zeigten, daß die Zeit etwas verlängert war und zwar auf 5 Sek. Allerdings gilt diese Zeit für einen Zugführer, der sich auf strengste Befolgung der Vorschriften eingestellt hat. Es standen aber hier 22 Sek. zur Verfügung. Das Gericht schloß deshalb auf Fahrlässigkeit. Wären dem Zugführer nur 6—7 Sek. zur Verfügung gestanden, so hätte man aus dem Gutachten nicht viel für das Gericht Verwertbares entnehmen können. Aus diesem Gutachten vom Jahre 1912 des Müllheimer Eisenbahnunglücks stammt nun die „Schrecksekunde" in der Rechtsprechung. Diese für den dortigen Fall angegebene Zeit braucht nun weder mit Schreck etwas zu tun zu haben, noch immer eine Sekunde betragen. Der Schreck muß nicht immer den Betrag der Reaktionszeit um eine Sekunde vergrößern, sondern kann kleinere oder größere Hemmungen hervorbringen (leicht und schwer erschreckbare Individuen!), die sogar in Schrecklähmungen übergehen können. Auch die Fehlleistungen, z. B. das Niedertreten des Gaspedals statt der Bremse, können oft auf das Konto des Schrecks gesetzt werden. Nicht hierzu ist zu rechnen, wenn ein Fahrer ein ungewohntes Fahrzeug fährt, an dem diese beiden genannten Hebel vertauscht sind, und der Fahrer im Falle eines Hindernisses die gewohnte Bewegung ausführt. Daß diese Bewegung oft eine reflektorische ist, zeigt die Beobachtung, daß der Beifahrer, der selbst geübter und geeigneter Kraftfahrer ist, auf eine imaginäre Bremse tritt, sobald er ein plötzliches Hindernis erblickt. Aus den vorhergegangenen Ausführungen läßt sich leicht ersehen, daß man aus den die Praxis nachahmenden (ev. im Kraftwagen) Experimentaluntersuchungen nur sagen kann, die erforderliche Reaktionszeit liegt für diesen zu untersuchenden Fall zwischen soundsoviel und soundsoviel Sekunden. Man wird auch einen Sicherheitsfaktor nicht umgehen können, da ja z. B. Stimmung und Ermüdung als psychische Einflüsse sich nicht, überhaupt nachträglich nicht, experimentell messen lassen.

Wie wir nun gesehen haben, setzt sich der Reaktionsablauf (Reaktionszeit) aus Einstellungs- bzw. Umstellungs-, Ueberraschungs- bzw. Schreckzeit und der eigentlichen Reaktionszeit zusammen. Es ist deshalb ein Fehler, wenn man aus dem Bremsweg die Zeit errechnen will, die dem Fahrer zur Verfügung stand, um den Wagen zum Stillstand zu bringen. Von großer Wichtigkeit ist auch, daß die für forensische Fälle wesentlichen Zeiten meist nicht die einfache Reaktionszeit, sondern oft eine Summe von Reaktionszeiten enthalten. Ist z. B. ein Fahrer gezwungen, infolge irgendeiner Gefahrenquelle geradeaus zu sehen, und er hört ein seitliches Hupensignal, das ihn auf eine seitliche Gefahr aufmerksam macht, so wird sich natürlich der ganze Reaktionsablauf aus akustischer Reaktionszeit, Kopfdrehung in die betreffende Richtung (Beurteilungsvermögen für Schallrichtung!), Perception des Lichtreizes, evtl. Ueberraschungszeit und Reaktionszeit auf den percipierten Reiz zusammensetzen. Bis jetzt für den Bremsweg unberücksichtigt ist auch noch, daß z. B. ein Motorradfahrer, der schon gebremst hat, die Bremse wieder reflektorisch losläßt, wenn sein Rad dadurch ins Schleudern gekommen war, um das abgleitende Fahrzeug mit den Füßen wieder aufzufangen. Ebenso wird eine nasse oder sandige Straße nicht nur die Bremswirkung herabsetzen, sondern der Fahrer wird durch die gesammelten Erfahrungen in der kräftigen

Betätigung der Bremse psychisch gehemmt, da er zu stürzen fürchtet. Auch Unebenheiten der Straße können hemmend auf den Entschluß zu bremsen einwirken, da das gebremste Rad zu hüpfen beginnt und ebenfalls, wie beim Bremsen eines Motorrades mit Beiwagen, der das Rad aus der Spur schiebende ungebremste Beiwagen den Fahrer beängstigt und nur zaghaft bremsen läßt. Da die Abwehrmaßnahmen zur Verhütung eines Unfalles, die ein Fahrer trifft, aber nicht allein in der Bremsbetätigung bestehen, sondern auch oft eine Ausweichbewegung erfordern, so handelt es sich um eine Mehrfachhandlung. Es kann nun, wie eigene Beobachtungen im Verkehr gezeigt haben, ein Teil dieser durch Schreck ausgeschaltet werden. Man wird deshalb auch nicht immer an dem Punkt, wo die Radspur eine Ausweichbewegung zeigt, die Schreckzeit als überwunden erklären können.

Allen diesen Punkten setzt die R.St.O. in § 25 entgegen: „Jeder Teilnehmer am öffentlichen Verkehr hat sich so zu verhalten, daß er keinen anderen schädigt oder mehr, als nach den Umständen vermeidbar, behindert oder belästigt." Dieser Paragraph enthält eine Generalklausel. Einerseits gewährt er dem Fahrer größtmögliche Freiheit, macht ihm aber andererseits den Umständen entsprechende Sorgfalt zur Pflicht. In § 25 AA II heißt es ferner: „Die Geschwindigkeit ist so einzurichten, daß nötigenfalls rechtzeitig angehalten werden kann." — Das würde also eine solche Beschränkung der Geschwindigkeit bedeuten, daß der Fahrer immer auf der von ihm zu übersehenden Wegstrecke sein Fahrzeug unter Berücksichtigung von Witterungseinflüssen, Straßenbedeckung, ihm bekannter gefährlicher Punkte, Bremswirkung und einer gewissen Reaktionszeit, mit der der Fahrer rechnen muß, zum Halten bringen kann. Auch wird er, wenn er mit voraussehbarem vorschriftswidrigem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer rechnen kann, seine Geschwindigkeit so einrichten müssen, daß er niemand gefährdet. Dies gilt besonders Kindern gegenüber. Ereignet sich aber nun trotzdem ein Unglück, so wird zu prüfen sein, ob der Fahrer fahrlässig gehandelt hat, ob ihm je nach den Umständen eine Schreck- oder Ueberraschungszeit zugebilligt werden kann, da er vielleicht plötzlich vor eine für ihn nicht voraussehbare Situation gestellt wurde und deshalb nicht rechtzeitig anhalten konnte.

Ein Fahrer, der unter Alkoholwirkung steht, auch ohne offensichtliche Symptome oder psychiologische Ermüdungssymptome zeigt, handelt von vornherein fahrlässig.

Deshalb soll auch hier die Wirkungsweise nur kurz gestreift werden. (Ausführliches siehe Schrifttum von Kraepelin, Jungmichel und Grünewald.) Der Alkohol beeinflußt den Fahrer nicht allein im Augenblick, sondern oft auch noch nach 12—24 Stunden. Dabei sind allerdings nicht allein die nach übermäßigem Alkoholgenuß zurückbleibenden Beschwerden, die ebenfalls individuell ganz verschieden sind oder die spezifische Wirkung auf das Sensorium, sondern auch der mit alkoholischen Exzessen verbundene Schlafmangel mit folgender Uebermüdung schuld an der Beeinflussung der Fahrsicherheit. Ebenso ist es nicht von überwältigender Wichtigkeit, wieviel Alkohol getrunken wurde, sondern die Beeinflussung steht mit der ins Blut resorbierten Menge und der Schnelligkeit der Verbrennung in Beziehung. Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein mit Speisen gefüllter Magen-Darmtractus die Resorption stark verzögert, sowie daß körperliche Arbeit die Schnelligkeit der Verbrennung des im Blut vorhandenen Alkohols steigert. Ein erwachsener Mensch in gutem Ernährungszustand kann, wie Jungmichels Er-

fahrungen zeigen, ungefähr ½—⅓ Liter 3prozentiges Bier pro Stunde trinken, ohne sich der Gefahr auszusetzen, mit seinem Fahrzeug den Verkehr zu gefährden, da er in einer Stunde ungefähr 10 g Alkohol zu verbrennen in der Lage ist. Diese Menge ist ziemlich konstant, da ja der Kraftfahrer meist keinen so großen körperlichen Leistungen ausgesetzt ist, die imstande wären, die Verbrennung zu steigern. Bei Verkehrsunfällen hat man jetzt die Möglichkeit, bei sofortiger Blutentnahme ungefähr auf die genossene Menge Alkohol einen Rückschluß ziehen zu können; allerdings wäre eine sofortige Gesamtuntersuchung des Betreffenden auch dringend zu wünschen, um den augenblicklichen körperlichen und evtl. seelischen Zustand festzulegen, da ja auch hiervon wieder die Alkoholwirkung auf den Menschen geändert wird. Die Widmark'sche Blutalkoholbestimmungsmethode macht es möglich, die Konzentration im Blut in Promillen anzugeben. Es entsprechen ungefähr:

1 ‰ : leichter Angetrunkenheit,

2 „ : leichterem bis mittlerem Rausch,

2,5 „ : schwerem Rausch,

über 3,5 „ : schwerster Alkoholvergiftung.

Praktisch kann der nach Verkehrsunfällen gemessene Blutalkoholgehalt auch nie mehr als 4‰ betragen, da der Beteiligte dann z. B. schon vorher nicht mehr imstande war, in einen Wagen hineinzukommen. Davon ausgenommen seien die Fälle, wo der Fahrer in kurzer Zeit hochprozentigen Alkohol zu sich genommen hat, der dann, während er sein Fahrzeug schon bestiegen hat, in der nachfolgenden Zeit resorbiert wird. Ergibt sich ein größerer Promillesatz als 4‰, so ist immer daran zu denken, ob nicht das Entnahmeinstrument oder die Entnahmestelle vorher mit Alkohol verunreinigt war (in Alkohol gelegte Spritzen oder Abreiben der Einstichstelle mit Alkohol!). Der Schwellwert für Blutalkohol dürfte wohl bei 1,56‰ liegen; darüber hinaus haben erfahrungsgemäß die meisten Menschen nicht mehr die Sicherheit, die zum sorgfältigen Führen eines Kraftfahrzeuges nötig ist. Ferner wird durch Alkohol die Fähigkeit der Aufmerksamkeit herabgesetzt und die physiologischen Schwankungen derselben noch verstärkt. Ebenso wird die Häufigkeit der Fehlleistungen vermehrt. Der Alkohol beeinflußt die Wirkung der sittlichen Hemmungen und wirkt dem Pflichtbewußtsein entgegen. Er erhöht das Bewußtsein der Leistungsfähigkeit und Sicherheit und erzeugt Ermüdungsgefühle, die direkt zum Einschlafen führen können. Anders verhält es sich freilich mit der physiologischen Ermüdung ohne psychologische Symptome. Da der Fahrer sich dieser Erscheinungen nicht bewußt wird, kann er im geeigneten Falle auch nicht als fahrlässig bezeichnet werden.

Da nun in neuerer Zeit ein ärztliches Gutachten zur Erlangung der Fahrerlaubnis nicht mehr verlangt wird, so mag auch hier manchmal ein körperlicher Mangel, der in Beziehung zur Eignung als Kraftfahrzeugführer steht, unentdeckt bleiben, der von dem Träger, der damit vielleicht schon seit früher Jugend behaftet ist, nicht mehr als Mangel empfunden wird oder noch nie empfunden wurde. Diese Beeinträchtigung wird sich aber doch nach dem sog. Wiederholungssatz immer wieder in leichteren oder schwereren Unfällen zeigen. Wenn nun, begründet durch diese gehäuften Unfälle, von der Behörde die Fahrerlaubnis entzogen wird, so kann das nicht als Strafe aufgefaßt werden, sondern als Fahrverbot für einen unfähigen Führer.

Aus dem Vorausgegangenen ist zu ersehen, daß der Bremsweg abhängig ist von den sehr variablen Größen des Reibungswertes, der Geschwindigkeit, den anderen schon besprochenen technischen Faktoren und von der durch psychische Hemmungen beeinflußten Reaktionszeit. Da nun die zu übersehende Strecke einerseits oft nur wenige Meter beträgt, andererseits aber auch eine Uebersicht auf 50 Meter und mehr des öfteren möglich ist, so wird das Gericht immer auf Grund der technischen und psychologischen Gutachten den Fall daraufhin prüfen müssen, ob der betreffende Fahrer unter den gegebenen Bedingungen imstande gewesen wäre, das Fahrzeug rechtzeitig zum Stillstand zu bringen oder ob nicht der in der Schreckzeit durchfahrene Weg schon länger ist, als der theoretisch mögliche kürzeste Bremsweg. Niemals aber ist es zulässig, wie früher angeführte Punkte zeigen, die Schreckzeit zu verallgemeinern und in jedem Fall eine Sekunde anzunehmen oder immer die gleiche Reaktionszeit vorauszusetzen und diese dem Bremsweg zuzurechnen. Das Gutachten wird die Fälle immer individuell und nach der Situation behandeln müssen, d. h. es wird oft nötig sein, dem Fahrer mehr als eine Schrecksekunde zu gewähren oder weniger als eine Sekunde Reaktionszeit zu berechnen, bis er in der Lage war, die nötigen willkürlichen Bewegungen auszuführen. Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß der Besitz des Führerscheins und die Kenntnis der Kraftfahrtechnik für jeden Richter, der Kraftwagenunfälle zu beurteilen hat, unumgänglich erscheint. Nur wer gewohnt ist, das rasch wechselnde Straßenbild vom Führersitz aus zu beobachten, kann den Unfallhergang richtig erfassen und sich in die Lage der beteiligten Fahrer hineinversetzen.

Quellen

1. H. Hinnenthal:
   Eisenbahnfahrzeuge II.
2. M. Hüpeden:
   Betrieb und Pflege des Kraftwagens.
3. L. Lechner:
   Kraftfahrzeuggesetzgebung nebst Reichs-Straßenverkehrsordnung mit kurzen Erläuterungen.
4. K. Marbe:
   Die gerichtspsychologische Begutachtung von Autounfällen und die Eignung zum Chauffeur.
5. O. Klemm:
   Neue psychologische Studien.
6. H. Gülde:
   Kommentar zur R.St.O.
7. Kleiber-Nath:
   Physik.
8. Hütte:
   Handbuch des Ingenieurs.
9. O. Kübler:
   Die Bremsen in der Reichs-Straßenverkehrs-Ordnung.
   Deutsche Postzeitung Nr. 9 1937.
10. G. Liebnitz:
    Bedeutung der Blutalkoholuntersuchung im Postkraftfahrbetrieb.
    Deutsche Postzeitung, Folge 26 1936.

Lebenslauf

Am 31. August 1911 wurde ich als Sohn des jetzigen Postinspektors Albert Kumpf und seiner Ehefrau Emma Kumpf, geb. Arzbächer, in Mannheim-Neckarau geboren. Mit 6 Jahren kam ich zur Schule und trat nach Vollendung des 3. Volksschuljahres in die Oberrealschule Schwetzingen über, um nach bestandenem Abitur mich in Heidelberg als Student der Medizin zu immatrikulieren. Nach 5 vorklinischen Semestern bestand ich die ärztliche Vorprüfung, ohne in der Zwischenzeit die Hochschule gewechselt zu haben. Ich blieb dann auch weiterhin in Heidelberg und habe nach dem 11. Semester mit dem ärztlichen Staatsexamen begonnen und dasselbe am 15. Februar 1937 ordnungsgemäß beendet. Am 20. Februar legte ich diese Arbeit zur Promotion vor.

Schwetzingen, den 20. Februar 1937.

Karlheinz Kumpf.